

Anschlußmöglichkeiten für Windenergieanlagen an Mittelspannungsnetze

Von der Fakultät für Elektrotechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Jürgen Tzschoppe
aus Nürnberg

Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-J. Haubrich
Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Hennberger

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juni 1998

“D 82 (Diss. RWTH Aachen)”

Inhalt

1 EINLEITUNG	1
1.1 Windenergie zur elektrischen Energiegewinnung	1
1.2 Neue Aufgaben bei verstärktem Einsatz von Windenergieanlagen	2
1.3 Planung von Mittelspannungs-Netzanschlüssen	4
1.4 Ziel dieser Arbeit	6
2 ANALYSE DES SYSTEMS	7
2.1 Technische Ausführung von 10- und 20-kV-Netzen	7
2.1.1 Struktur und Auslegung der Betriebsmittel	7
2.1.2 Schutzkonzept	8
2.1.3 Betriebliche Freiheitsgrade	9
2.2 Anforderungen von Mittel- und Niederspannungskunden	11
2.2.1 Leistungsbedarf	11
2.2.2 Spannungsqualität	12
2.2.3 Versorgungszuverlässigkeit	13
2.3 Windenergieanlagen (WEA)	14
2.3.1 Anlagentechnik	14
2.3.2 Erzeugungscharakteristik im Langzeitbereich	16
2.3.3 Erzeugungscharakteristik im Kurzzeitbereich	17
2.3.4 Charakteristik der Leistungsabgabe eines WEA-Kollektivs	19
2.3.5 Betriebliche Freiheitsgrade	21
2.4 Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen	23
2.4.1 Voraussetzungen für den Netzbetrieb	23
2.4.2 Qualitätsanforderungen der Kunden	25
2.5 Zusammenfassung der Bewertungskriterien	32

3	VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DER MAXIMAL MÖGLICHEN WEA-ANSCHLUßLEISTUNG	35
3.1	Vorgehensweise	36
3.2	Betriebsoptimierung	39
3.3	Betriebsberechnung	43
3.4	Wirkungsweise der Betriebsoptimierung am Beispiel eines 20-kV-Netzes	45
4	MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DES ANSCHLUSSES VON WEA AN MITTELSPANNUNGSNETZE	53
4.1	Modellsysteme	54
4.2	Anschlußmöglichkeiten an Einzelknoten	57
4.3	Wechselwirkungen mehrerer WEA-Einspeisungen	59
4.4	Neue Anforderungen an WEA und Netzbetrieb	63
4.4.1	Kurzschlußleistung	63
4.4.2	Selektivität des Schutzsystems	64
4.4.3	Flicker	65
4.4.4	Schaltbedingte Spannungsänderungen	67
5	ZUSAMMENFASSUNG	69
6	LITERATUR	71